

원자력발전소의 체적제어 최적화를 위한 유출수 제어 튜닝

이광대, 오승세, 양승옥
한국전력공사 전력연구원

Letdown Flow Tuning for Optimal Inventory Control of Nuclear Plant

Kwang Dae Lee, Eung Se Oh, Seung Ok Yang
Korea Electric Power Corporation - Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 표준형 원자력발전소에서는 원자로 내의 핵연료 붕으로부터 발생하는 열에너지를 열교환기인 증기발생기로 전달하는 원자로냉각재 계통이 있다. 핵연료 붕을 적절한 냉각 상태로 유지하기 위하여 원자로냉각재의 온도와 압력뿐만 아니라 체적을 제어하고 있다. 원자로냉각재 체적은 용량이 큰 반면에 제어하는 밸브의 크기는 작아서 제어 응답이 길어서 현장에서 경험적으로 튜닝하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 체적제어루프의 수학적인 모델링을 통하여 오프라인으로 최적 제어 파라미터를 찾고, 실제 적용한 결과를 보여준다. 제어루프 모델링을 위하여 일반화 프로세서 모델 식으로부터 실제 운전 데이터로 모델 파라미터를 결정하는 경험적 방법을 사용하였다. 이로부터 구한 제어 파라미터를 실제 적용한 결과, 적절한 제어 응답을 얻었으며 모델링 과정이 적절하였음을 확인하였다.

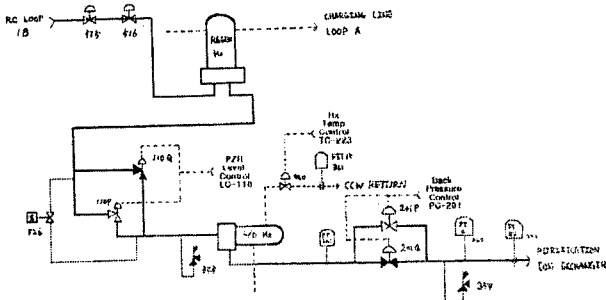
1. 서 론

원자력발전소 원자로냉각재 계통의 체적제어루프 운전데이터를 이용하여 수학적 모델링을 만든 후, 시뮬레이션을 통하여 제어를 최적화하였다. 체적제어 모델링에는 일반화 프로세서 모델인 1차 적분 공정식을 사용하였으며 실제 운전데이터를 활용하여 모델 파라미터를 구하였다. 구한 냉각재의 체적제어 모델과 제어기 모델을 이용하여 제어루프를 구성하였다. 시뮬레이션을 통하여 운전 과도에서의 제어 모델을 분석하고 제어 파라미터를 변경하면서 최적값을 구하였다. 구한 제어 파라미터를 실제 제어기에 적용하여 운전한 결과, 운전 과도에서도 만족스러운 제어 추종성을 나타내었다.

2. 본 론

2.1 원자력발전소 체적제어루프 개요

원자력발전소의 원자로냉각재 체적제어를 위한 기기 구성은 <그림 1>과 같다.

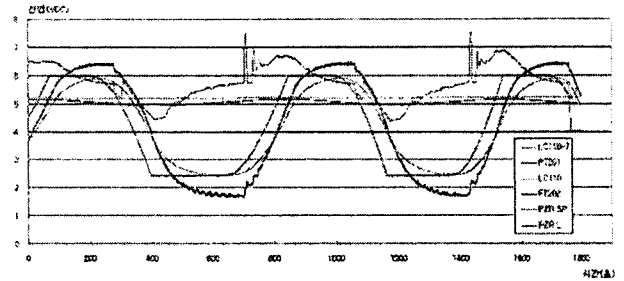


<그림 1> 원자력발전소 체적제어 기기 구성

체적제어는 원자로냉각재 체적제어탱크인 가압기의 수위 신호를 입력으로 하고 유출수 유량제어 밸브인 110P/110Q를 제어함으로써 이루어진다.

2.2 튜닝전 체적제어루프 응답특성

체적제어루프의 튜닝전 제어 응답특성은 <그림 2>와 같다. 가압기 수위 설정치(PZR SP)와 수위(PZR L)신호의 작은 차이에서도 수위제어 밸브의 제어신호(LC-110-7)는 약 25-60% 범위에서, 유량신호(FT202)는 약 18-65% 범위에서 진동하고 있음을 보여준다. 이때의 제어 파라미터는 비례대가 16%, 적분시간은 2초였다.



<그림 2> 튜닝전 체적제어 응답특성

2.3 제어루프 모델링

원자로 냉각재 체적제어는 일반적인 탱크의 수위 제어루프와 같이 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho A_c \frac{dL}{dt} = F_{in} - F_{out}$$

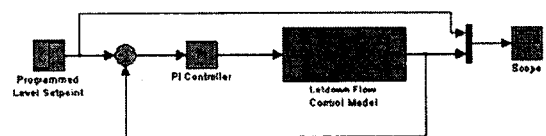
여기서, ρ 는 유체 밀도, A_c 는 탱크 단면적, F_{in} , F_{out} 은 탱크에 유입 또는 유출되는 유량이다. 위의 식과 같이, 탱크 체적은 유량의 변화에 대하여 1차 적분 응답특성 나타내는 적분공정이다. 그러나 원자력발전소의 체적제어 루프와 같이 밀폐형인 경우에는 순수한 1차 적분공정과 압력의 영향 등에 의한 지연 효과가 나타나게 되며 이를 반영한 일반식은 다음과 같다.

$$L(s) = \frac{\Delta F}{S + K}$$

위의 일반식에 <그림 2>의 실제 운전 데이터를 이용하여 모델의 파라미터를 구한 Discrete 모델 식은 다음과 같다.

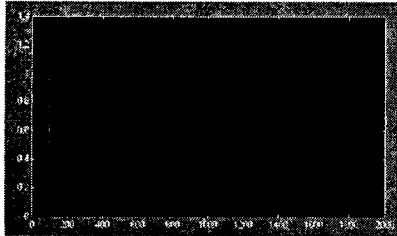
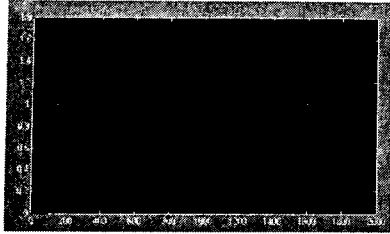
$$L(z) = \frac{-0.000253}{Z - 1} \Delta F(z)$$

위의 경험적 모델 식을 이용하여 구성된 전체 제어루프 모델은 <그림 3>과 같다.



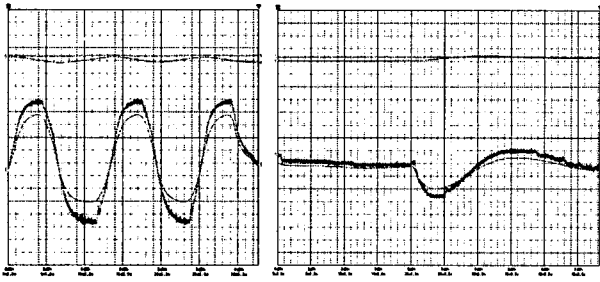
<그림 3> 제어루프 모델

제어루프 모델을 이용하여 튜닝전의 제어 파라미터로부터 시작하여 최적 제어 기준인 오버슈트 30%까지 튜닝한 결과는 <그림 4>와 같다. 본 체적제어루프에서는 제어대상인 체적에 비해서 제어밸브의 크기가 작으므로 제어기준을 제어응답이 약간 빠르도록 하는 오버슈트 30%로 설정하였다. 시뮬레이션 결과, 최적 제어는 비례대가 13%, 적분시간은 5분에서 이루어짐을 알 수 있었다.



〈그림 4〉 튜닝전과 튜닝후의 제어 응답특성

최적 제어 파라미터를 실제 발전소에 적용하기전과 후의 결과는 〈그림 5〉와 같다.



〈그림 5〉 실제 발전소의 적용전후의 제어 응답

최적 제어 파라미터를 발전소에 적용한 결과, 인위적인 수위의 변화에서도 적절한 오버슈트를 가지는 응답특성으로 적절하게 추종함을 확인하였다.

3. 결 론

원자력발전소의 원자로 냉각재 체적을 적절하게 제어하는 것은 원자로 내의 핵연료에서 생산되는 열을 적절하게 냉각제어하는 것으로 안전 운전 에 매우 중요하다. 제어 기능이 중요한 만큼 현장에서 경험적으로 제어 튜닝을 하는 것은 위험도가 높고 응답시간도 길어서 튜닝이 어려웠다. 본 논문에서는 실제 제어응답 데이터를 이용한 체적제어루프의 모델링과 시뮬레이션 을 통하여 최적 제어 파라미터를 구하였다. 또한 그 값을 실제 제어기 값으로 적용하였으며, 운전 과도에서도 제어응답 특성이 적절하게 추종함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] James B.Riggs, "Chemical Process Control", 아진출판사, pp.96-97, 2001
- [2] Lennart Ljung, "System Identification", Prentice Hall, pp.56-57, 1987
- [3] Bahram Shahian, "Control System Design Using Matlab", Prentice Hall, pp.171-177, 1993